

天线 CAD

Ansoft HFSS 软件的基本原理及应用



2009.8

一、简介 (Brief Introduction)

Ansoft HFSS (全称 High Frequency Structure Simulator, 高频结构仿真器) 是 **Ansoft** 公司推出的基于 **电磁场有限元方**

法（FEM）的分析微波工程问题的三维电磁仿真软件，可以对任意的三维模型进行**全波分析求解**，先进的材料类型，边界条件及求解技术，使其以无与伦比的仿真精度和可靠性，快捷的仿真速度，方便易用的操作界面，稳定成熟的**自适应网格剖分技术**使其成为高频结构设计的首选工具和行业标准，已经广泛地应用于航空、航天、电子、半导体、计算机、通信等多个领域，帮助工程师们高效地设计各种高频结构，包括：射频和微波部件、天线和天线阵及天线罩，高速互连结构、电真空器件，研究目标特性和系统/部件的电磁兼容/电磁干扰特性，从而降低设计成本，减少设计周期，增强竞争力。

Ansoft HFSS的应用领域：

天线

1. 面天线：贴片天线、喇叭天线、螺旋天线
2. 波导：圆形/矩形波导、喇叭、波导缝隙天线
3. 线天线：偶极子天线、螺旋线天线
4. 天线阵列：有限阵列天线阵、频率选择表面（FSS）、
5. 雷达散射截面（RCS）

微波

1. 滤波器：腔体滤波器、微带滤波器、介质滤波器
2. EMC（Electromagnetic Compatibility）/EMI（Electromagnetic

Interference) : 屏蔽罩、近场—远场辐射

3. 连接器：同轴连接器\底板、过渡
4. 波导：波导滤波器、波导谐振器、波导连接器
5. Silicon/GaAs：螺旋电感器、变压器

通过HFSS可以获取的信息：

1. 矩阵数据：S、Y、Z参数和VSWR（匹配）
2. 相关的场：
 - 2D/3D近场—远场图
 - 电场、磁场、电流（体/面电流）、功率、SAR辐射
3. 某空间内的场求解
 - 求解类型：Full-wave
 - 求解原理：3D有限元法（FEM）
 - 网格类型：等角的
 - 网格单元：正四面体
 - 网格剖分形式：自适应网格(Adaptive Meshing)
4. 激励：端口求解
 - 求解原理：2D-FEM
 - 形式：自适应网格（边界条件）

HFSS软件的求解原理

总体来说，HFSS软件将所求解的微波问题等效为**计算**

N端口网络的S矩阵，具体步骤如下：

- 将结构划分为有限元网格（自适应网格剖分）
- 在每一个激励端口处计算与端口具有相同截面的传输线所支持的模式
- 假设每次激励一个模式，计算结构内全部电磁场模式
- 由得到的反射量和传输量计算广义S矩阵

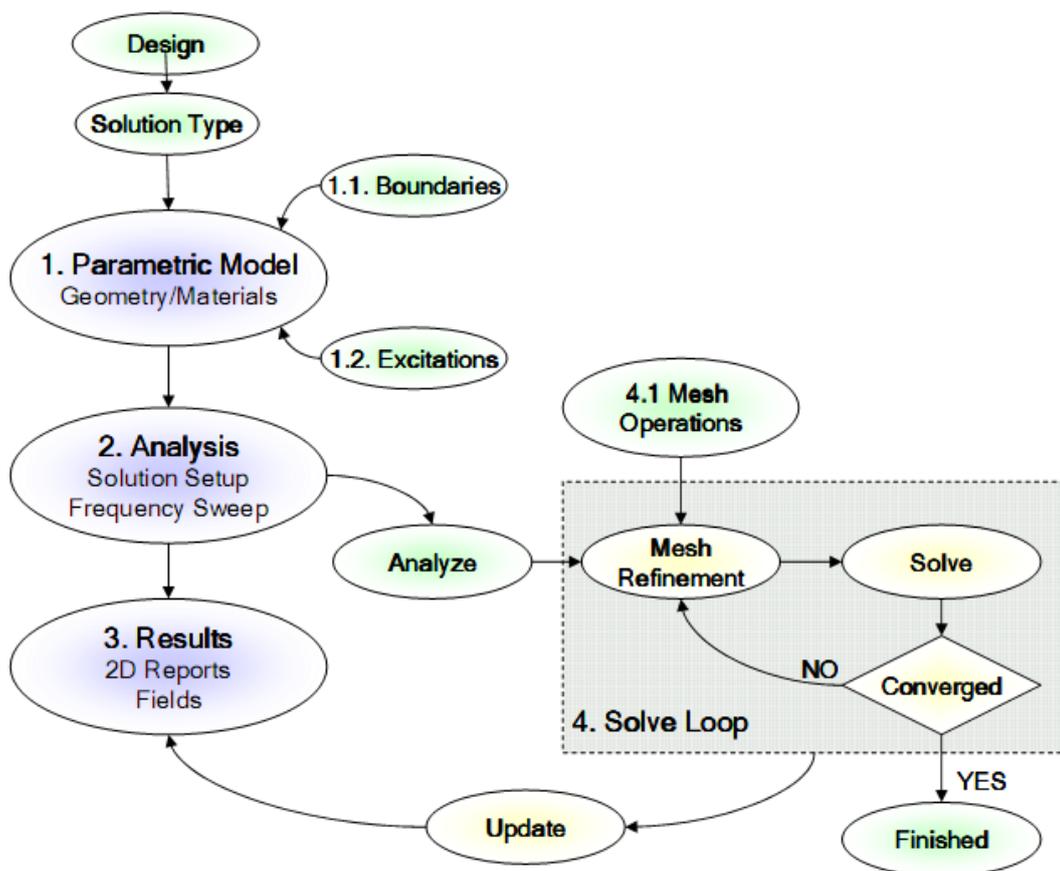


图 1 求解流程图

自适应网格剖分是在误差大的区域内对网格多次迭代细化的求解过程，利用网格剖分结果来计算在求解频率激励下存在于结构内部的电磁场。初始网格是基于单频波长进行的粗剖分，然后进行自适应分析，利用粗剖分对象计算的有限元解来估计在问题域中的哪些区域其精确解会有

很大的误差（收敛性判断），再对这些区域的四面体网格进行细化（进一步迭代），并产生新的解，重新计算误差，重复迭代过程（**求解—误差分析（收敛性判断）—自适应细化网格**）直到满足收敛标准或达到最大迭代步数。如果正在进行扫频，则对其他频点求解问题不再进一步细化网格。

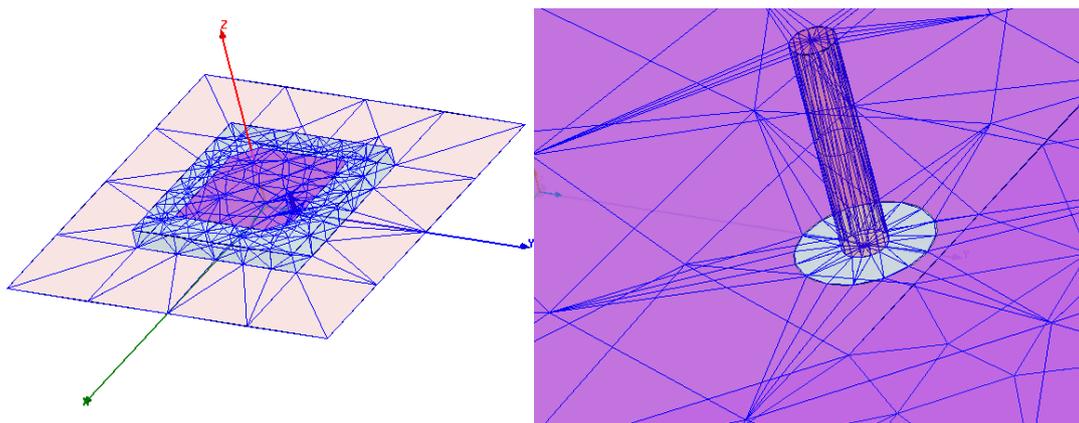


图 2 自适应网格（总体与局部）

HFSS 的操作界面和菜单功能介绍：

Ansoft HFSS的界面主要包括：菜单栏（Menu bar）、工具栏（Toolbars）、工程管理（Project Manage）窗口、状态栏（Status bar）、属性窗口（Properties window）、进度窗口（Progress window）、信息管理（Message Manage）窗口和3D模型窗口（3D Modeler Window）。

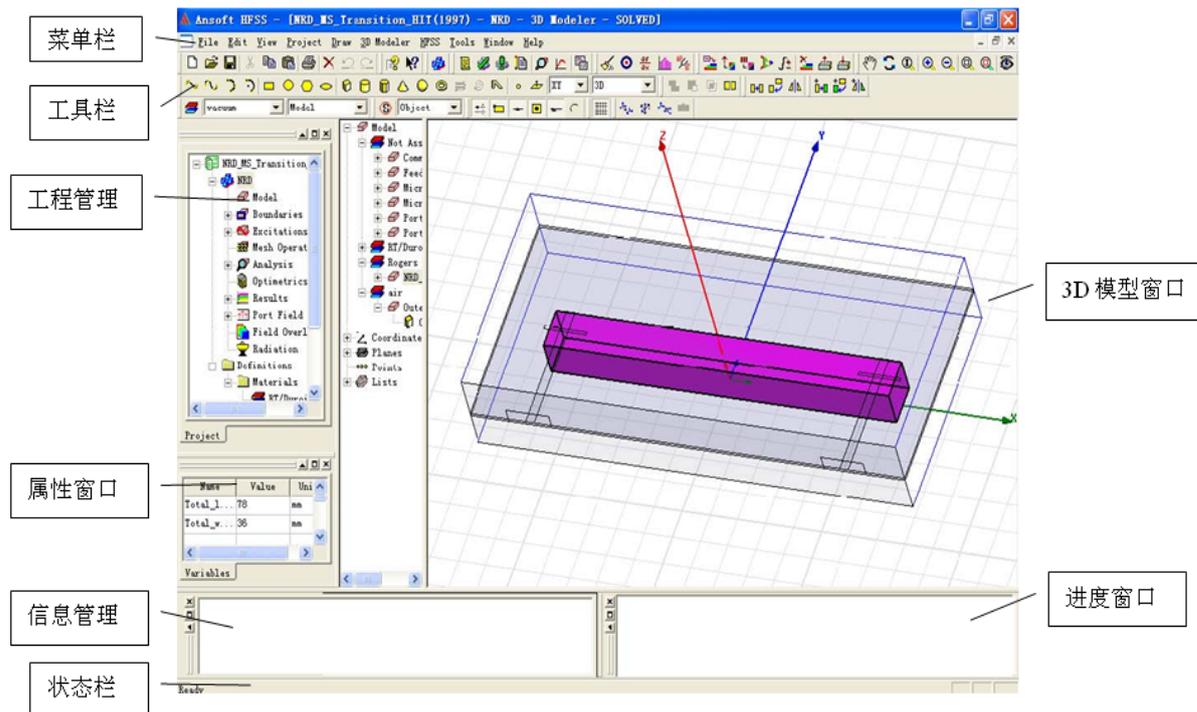


图3 Ansoft HFSS的操作界面

菜单栏 (Menu bar) 绘图、3D模型、HFSS、工具和帮助等下拉式菜单组成。

工具栏 (Tool bar) 对应菜单中常用的各种命令，可以快速方便的执行各种命令。

工程管理 (Project Manage) 窗口显示所以打开的HFSS工程的详细信息，包括边界、激励、剖分操作、分析、参数优化、结果、端口场显示、场覆盖图和辐射等。

状态栏 (Status bar) 位于HFSS界面底部，显示当前执行命令的信息。

属性窗口 (Properties window) 显示在工程树、历史树和3D模型窗口中所选条目的特性或属性。

进度窗口 (Progress window) 监视运行进度，以图像方式表示进度完成比例。

信息管理 (Message Manage) 窗口显示工程设置的错误信息和分析进度信息。

3D模型窗口 (3D Modeler Window) 是创建几何模型的区域，包括模型视图区域和历史树（记录创建模型的过程）。

二、操作指南和应用 (Operational Guideline and Application)

完整的天线仿真分析基本步骤包括（带*号的是必要步骤）：

1、创建工程及运行环境 (Create project and set operating environment)：基本的包括创建新工程、插入新设计、修改工程和设计名、设置绘图单位和求解类型等；

***2、创建模型 (Draw a geometric model)**：通过使用各种绘图命令，建立与实际模型对应的仿真模型结构，并设置求解空间和边界条件（各种端口激励和辐射边界等）；

3、确定模型设计参数的变量 (Assign variables to a model's design parameters)：建立变量来代替模型中的位置和尺寸参数，这有利于调整模型的结构，建立起模型各个参数之间的联系，也是进行后期参数分析、优化的必要前提；

***4、求解设置 (Specify solution settings for a design)**：求解设置包括指定求解的频率，求解的迭代步数

和求解结束的条件，另外如果要考察模型随频率变化的特性，还需要设置相应的扫频项；

5、设计验证 (Validate a design' s setup) : 经过上面的步骤，一个完整的分析模型就建立起来了，不过在分析之前我们应该检查模型的正确性与完整性，快捷工具  可以帮助我们完成模型的检测，并给出错误提示，以便我们进行修改更正；

***6、运行HFSS仿真 (Run an HFSS simulation) :** 点击工具栏中的  图标进行仿真，仿真的时间由模型的大小、计算机性能以及求解项的设置有关，这过程中我们可以多线程工作；

***7、创建图表结果 (Create report results) :** 仿真结束，我们要查看模型的各种性能参数，HFSS为我们提供了丰富的参数类别和图标形式，可以创建不同的图表来描述仿真的结果；

8、参数扫描与变量优化 (Parametric sweep and optimization) : 当我们要考虑不同参数变量对天线性能的影响以及需要综合优化天线性能时，HFSS也给我们提供了参数扫描和优化的功能。

实例演示：下面以缝隙耦合贴片天线为例具体说明软件的基本操作。

如图所示，是将要创建的天线模型的结构图，我们将结合上述理论，通过详细的操作步骤来学习利用该软件仿真天线的基本方法。

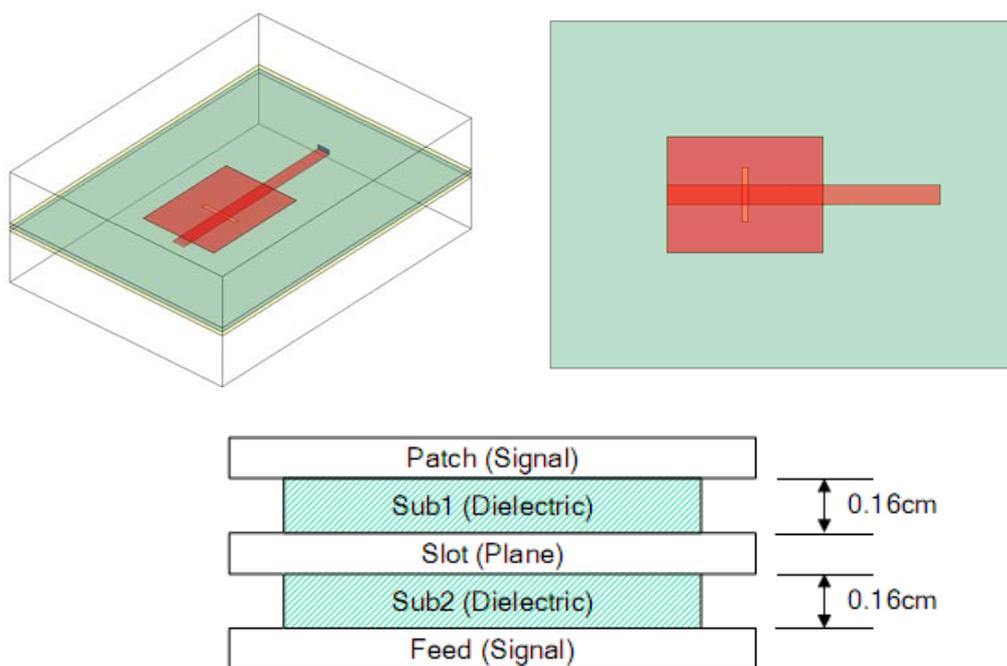


图4 缝隙耦合贴片天线结构图

一、创建工程及运行环境

步骤1：打开HFSS，程序会给用户创建一个默认工程和设计，我们将工程重新命名为slotpatch；若要建立新的工程则可以选择菜单File>New或者点击工具栏中的；若要在工程中插入新的设计，可以从菜单选择Project>Insert HFSS Design或者点击工具键；此外我们还可以对设计进行复制和粘贴的操作；

步骤2：从菜单HFSS>Solution Type选择求解类型

(Solution Type) 为 Driven Model，对于不同求解类型的应用说明可以参照 HFSS 帮助；

步骤3： 设置单位，从菜单选择 Modeler>Units 或者 Tools>Options>General Options>Default Units 中选择 cm，如果是双核计算机，还可以在 Tools>Options>HFSS Options 的 Solver 标签页的 Number of Processors 中改成 2，点击确定退出。

二、创建模型

步骤4： 画图前应选择参考平面，这里我们选择 XY 平面。先画介质板 sub，在菜单选择 Draw>Box 或者工具栏中点击快捷按钮。在状态栏中用 Tab 键输入起点坐标：-7，-4.5，0 按回车键 (Enter) 确定，再输入相对坐标 (长，宽，高) 12，9，0.32 确定即可在模型窗口中创建一个立方体。

属性窗口的使用： 几何图形的尺寸可通过属性窗口作出相应的修改，也可通过设置变量并赋值来确定，以便于进行参数优化；几何图形的名称，材料及特性可通过属性窗口进行设置，重命名该立方体为 sub，并对其赋予相对介电常数为 2.2 的材料，方法是单击 Materials toolbar 进行选择。此外还可以设置图形的颜色及透明度等，使显示效果更加直观。

操作技巧： 画完图形后，我们可以通过按住 Alt 键，或者 Shift 键，或者 Alt+Shift 键并拖动鼠标可以分别实现图形的

旋转，平移和放大缩小的操作，这三个操作是最常用的操作。另外 **Ctrl+D** 可以让我们的模型以最合适的尺寸显示在3D模型窗口中，**Alt+双击左键** 会将视图角度调整为沿某坐标轴显示；

步骤5： 创建馈线feedline。选择Draw>Rectangle，在状态栏中键入几何尺寸：X -5 ， Y -0.2475 ， Z 0；

dX 7 ， dY 0.495 ， dZ 0；

并在属性窗口中重命名为feedline。

步骤6： 创建地平面Ground。同样选择Draw>Rectangle，在属性窗口中键入几何尺寸： -7 -4.5 0.16；

dX 12 ， dY 9 ， dZ 0；

并在属性窗口中重命名为Ground。

步骤7： 创建缝隙slot。同样选择Draw>Rectangle，在状态栏中键入几何尺寸：X -0.0775 ， Y -0.7 ， Z 0.16；

dX 0.155 ， dY 1.4 ， dZ 0；

并在属性窗口中重命名为slot。

步骤8： 完成地平面。按住ctrl键同时选择已经创建的图形Ground和slot，在右键菜单中选择Edit>Boolean>Subtract，在弹出的Subtract对话框中确保Blank parts为Ground，Tools parts为slot，点确定后即可得到带有缝隙的地平面。

注： 图形的布尔运算（Boolean）在创建模型的过程中具

有极为重要的作用，它包括相加运算（Unit），相减运算（Subtract），相交（intersect），切断（split），可使三维模型的创建更加方便快捷，也更加丰富多彩，详细的使用方法请参考HFSS online help。

步骤9：创建矩形辐射贴片patch。选择Draw>Rectangle，在状态栏中键入几何尺寸：X -2 ， Y -1.5 ， Z 0.32；

dX 4 ， dY 3 ， dZ 0；

并在属性窗口中重命名为patch。

步骤10：激励端口的设置。首先更改坐标平面为YZ面，选择Draw>Rectangle，在属性窗口中键入几何尺寸：

-5, -0.2475, 0； dX 0 ， dY 0.495 ， dZ 0.16；

命名为port。该端口的宽度与馈线feedline相同，上端与地平面Ground相接触，下端与馈线feedline相接触。

步骤11：求解区域设置。天线属于辐射问题，基于有限元的HFSS必须在有限空间内求解才有意义，所以我们在天线周围画一有限大的长方体空气腔作为天线的求解空间，并给空气腔加上辐射边界条件，通常辐射边界与天线体的距离略大于四分之一个工作波长。在工具栏选择Draw box，在3D modeler窗口画出立方体空气盒子（-7 ， -4.5 ， -2；12 9 4.32）（其材料为默认的真空vacuum）。

三、设置边界（Boundaries）

步骤12：选择计算区域空气盒子，在右键菜单中选择

Assign boundary>Radiation, 给边界条件命名并点击确定完成设置, 这时在工程管理树的Boundary节点下会新建一个Rad1的辐射边界项。

辐射边界: 一种模拟波辐射到空间的无限远处的吸收边界条件, 是自由空间的近似。

步骤13: 按住ctrl键选择所创建的二维图形feedline, Ground和Patch, 在右键菜单中选择Assign boundary>Perfect E (理想导体边界), 给边界条件命名并点击确定完成设置, 这时在工程管理树的Boundary节点下会添加默认名称为perfE1的理想导体边界项。

理想导体边界: 描述微波问题中的理想导体表面, 使电场垂直于这些表面, 即切向电场为零。

四、设置激励 (Excitations)

步骤14: 选定激励端口port, 点击右键选择Assign Excitation Lumped port (集总端口), 保证电阻为50欧, 点击下一步, 在Integration Line项目选择New Line由上而下画出积分线, 此时鼠标会自动捕捉边缘线的中点, 并呈现三角形, 单击左键即可确定这一点。完成设置后会在工程管理树的Excitations节点下添加默认名称为Lumped port1的激励端口。

集总端口激励: 可设置复阻抗, 积分线决定信号和传输波的相位值。

五、求解设置 (Analysis)

步骤15: 选定工程管理窗口中的Analysis节点，点击右键选择Add Solution Setup，弹出Solution Setup对话框，输入工作频率2.28GHz，收敛迭代最大步数 (Maximum Number of Passes)15，点击确定退出。选定工程管理窗口中的Analysis下的Setup1，点击右键选择Add Sweep (添加扫频)，选择Sweep Type为Fast，输入计算频率范围(1.28~3.28GHz)，按ok退出。当需要仿真天线在较宽频带特性的时候选择Fast扫描可以获得较短的仿真时间，而要精确的计算几个谐振频点上的天线特性可以选择Discrete扫描类型。

六、设置辐射场 (Radiation)

步骤16: 选择工程管理窗口中的Radiation，点击右键选择Far Field Setup Infinite Sphere，弹出对话框，将Theta的范围设置成从-180deg到180deg，按确定退出。

七、检查错误和分析

步骤17: 由主菜单选HFSS>Validation Check或者点击工具栏中图标，则弹出确认检查窗口，对设计模型进行有效性检查。对于建模中的错误会在信息窗口提示，全部完成而没有错误时，点Close结束；

步骤18: 由主菜单HFSS>Analyze或者点击工具栏中图标，对设计的模型进行求解，在这过程之中我们可以在进度窗口查看分析的进程。待求解全部完成以后，在信息窗口

会出现提示信息。

***步骤19:** 分析完毕且没有错误提示，我们就可以看看认真仔细建模的成果了。但是在创建图表之前，有一点必须去注意的就是查看求解结果是否收敛。因为求解过程没有出错并不代表输出结果就是正确的，有可能我们设置的求解条件不合适导致结果的误差超出可接受的范围。从菜单HFSS>Results>Solution Data>Convergence就可以看到求解结果是否收敛。

Δ S最大值: 连续的两步迭代中S参数值的差。如果两步迭代之间S参数的大小和相位总的变化比Max Delta S Per Pass中的值要小，则求解收敛，自适应分析停止。

如果结果没有收敛我们可以返回求解设置一步，增大Maximum Number of Passes的值，或者增大Maximum Delta S的值，然后重新求解直至求解结果完全收敛。

七、显示结果 (Results)

步骤20: 画电压驻波比 (VSWR) 曲线。选定工程管理窗口中的Results，点击右键选择Create Report，保留缺省值，按ok确定，在Category框选择VSWR，点击Add Trace，点击Done退出。生成的VSWR曲线如图5所示。

对画出的曲线我们可以选择右键菜单中的Zoom In 进行局部放大Fit all进行还原，或用Data Maker进行标注，使结果更加清楚。

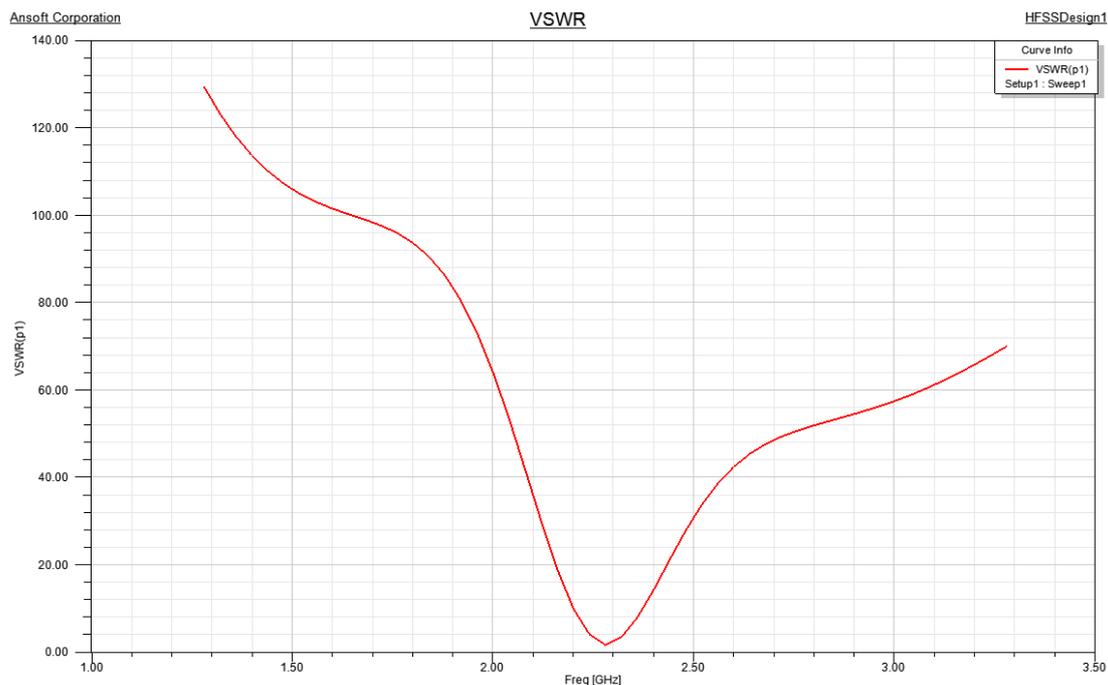


图 5 VSWR随频率变化曲线图

步骤21: 画3D辐射方向图。选定工程管理窗口中的Results, 点击右键选择Create Report Far Fileds 3D Polar Plot, 按ok确定, 在Solution框选择Gain 的dB值, 其他项保持不变, 点击Add Trace, 点击Done退出。生成的方向图如图6所示。

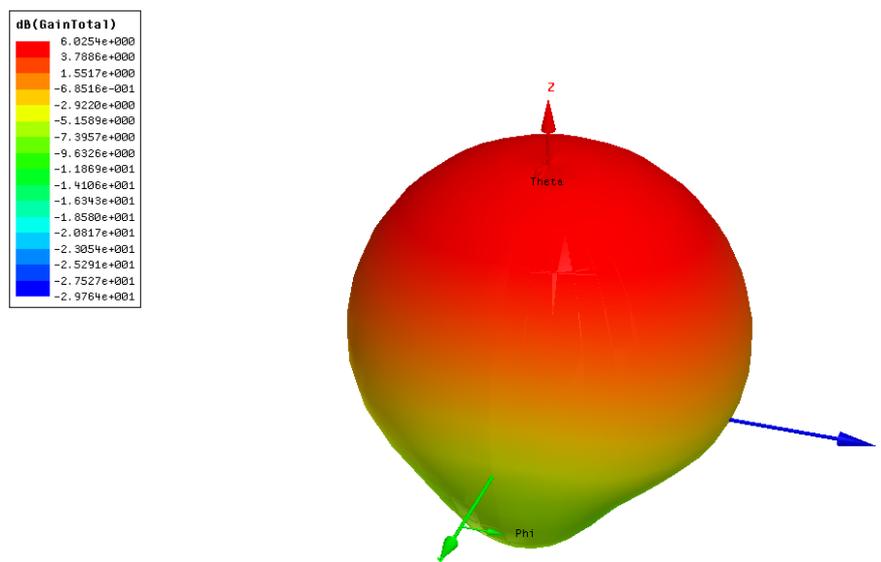


图6 3D辐射方向图

步骤22：画2D辐射方向图。选定工程管理窗口中的Results，点击右键选择Create Report>Far Fields> Radiation Pattern/Rectangular Plot，按ok确定。在Solution框选择Gain 的dB值，在Sweeps选项卡中，选择phi为0，theta值All Values，并保证theta的类型为primary sweep，点击Add Trace，点击Done退出。生成的XZ平面的辐射方向图如图所示。

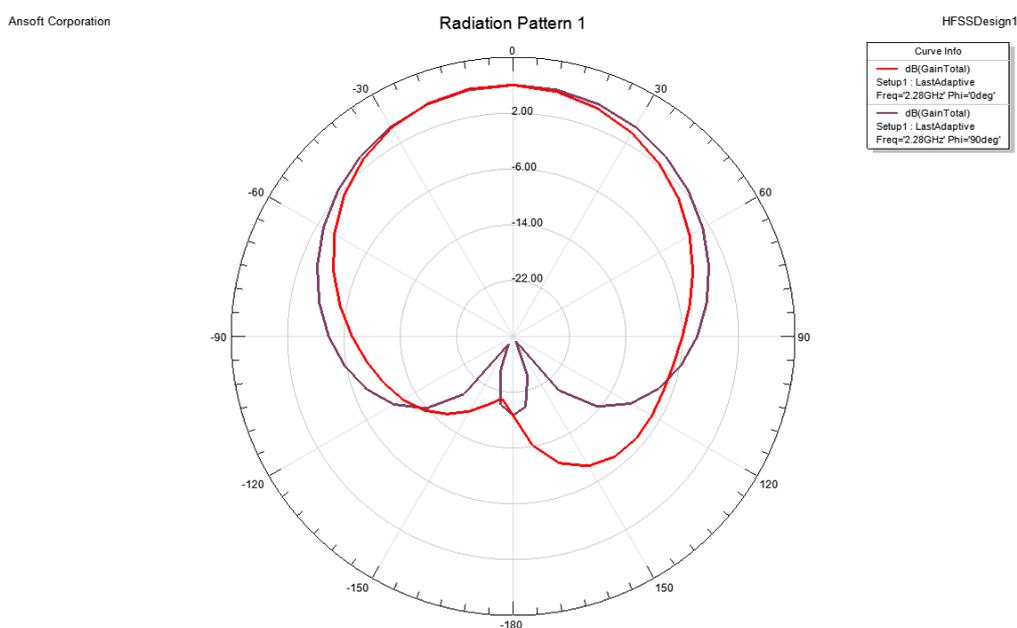


图7 2D辐射方向图(极坐标系)

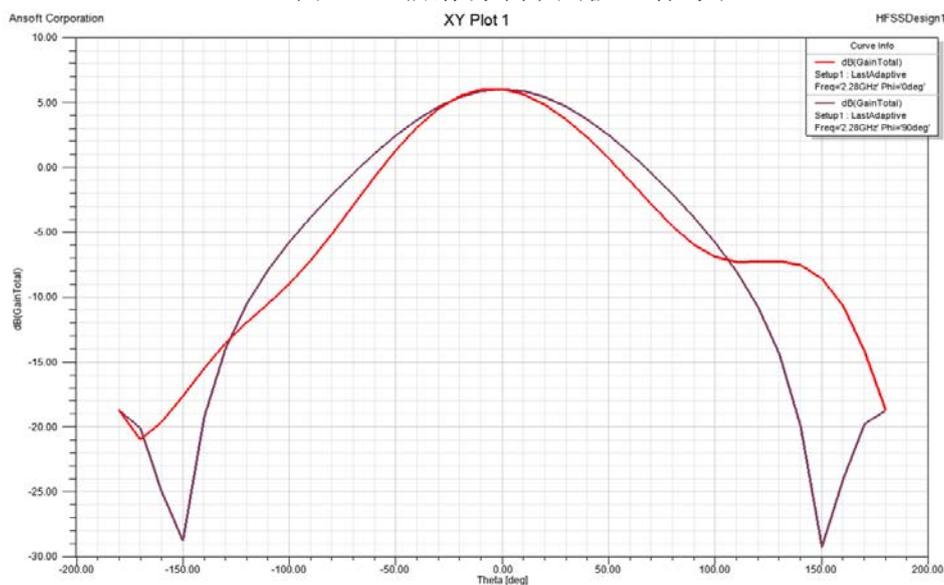


图8 2D辐射方向图(直角坐标系)

小结：

本次课我们介绍了 Ansoft 公司的 HFSS 高频仿真软件的基本特性和基本操作，并结合实际例子对一个缝隙耦合贴片天线进行了建模和仿真。作为一个软件，学习它最好的办法就是经常使用它，由于课堂上的时间十分有限，这里介绍的都是基本的操作，对于其他的许多功能和定义，我们可以查找 HFSS 的帮助文件和用户手册。在下一节课我们将进一步学习 HFSS 的一些高级应用及实用技巧。

微波 EDA 网视频培训课程推荐

微波 EDA 网(www.mweda.com)成立于 2004 年底,并于翌年与易迪拓培训合并,专注于微波、射频和硬件工程师的培养,现已发展成为国内最大的微波射频和无线通信人才培养基地。先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,成功推出了多套微波射频经典培训课程和 ADS、HFSS 等软件的使用培训课程,广受工程技术学员的好评,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。



HFSS 中文视频培训课程套装

国内最全面和专业的 HFSS 培训教程套装,包含 5 套视频教程和 2 本教材,李明洋老师讲解;结合最新工程案例,视频操作演示,让 HFSS 学习不再难。购买套装更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,让您花最少的成本,以最快的速度自学掌握 HFSS... 【[点击浏览详情](#)】

两周学会 HFSS —— 中文视频教程

李明洋主讲,视频同步操作演示,直观易学。课程从零讲起,通过两周的课程学习,可以帮助您快速入门、自学掌握 HFSS,真正做到让 HFSS 学习不再难... 【[点击浏览详情](#)】

HFSS 微波器件仿真分析实例 —— 中文视频教程

HFSS 进阶培训课程,中文视频,通过十个 HFSS 仿真设计工程应用实例,带您更深入学习 HFSS 的实际应用,掌握 HFSS 高级设置和应用技巧... 【[点击浏览详情](#)】

HFSS 天线设计入门 —— 中文视频教程

HFSS 是天线设计的王者,该教程全面解析了天线的基础知识、HFSS 天线设计流程和详细操作设置,让 HFSS 天线设计不再难... 【[点击浏览详情](#)】

PCB 天线设计和 HFSS 仿真分析实例 —— 中文视频教程

详细讲解了 PCB 天线的工作原理和设计方法、如何使用 HFSS 来设计分析 PCB 天线,以及如何借助于 Smith 圆图工作来调试天线的匹配电路,改善天线性能... 【[点击浏览详情](#)】

了解详情,请查看微波 EDA 网 (www.mweda.com/eda/hfss.html)

微波射频测量仪器培训课程套装合集



搞射频微波，不会仪器操作怎么行！矢量网络分析仪、频谱仪、示波器、信号源是微波射频工程师最常用的测量仪器。该培训套装集合了直观的视频培训教程和详尽的图书教材，旨在帮助您快速熟悉和精通矢网、频谱仪、示波器等仪器的操作…【[点击浏览详情](#)】

Agilent ADS 学习培训课程套装

国内最全面和权威的 ADS 培训教程，详细讲解了 ADS 在微波射频电路、通信系统和电磁仿真设计方面的应用。课程是由具有多年 ADS 使用经验的资深专家讲解，结合工程实例，直观易学；能让您在最短的时间内学会 ADS，并把 ADS 真正应用到研发工作中去…【[点击浏览详情](#)】



我们的课程优势：

- ※ 成立于 2004 年，一直专注于射频工程师的培养，行业经验丰富，更了解您的需求
- ※ 视频课程、既能达到现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深专家主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学
- ※ 更多实用课程，欢迎登陆我们的官方网站 <http://www.mweda.com>，或者登陆我们的官方淘宝店 <http://shop36920890.taobao.com/>